

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

---

# ПМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



# ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

№ 2 (2016)

---

Павлодар

## НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

Энергетическая серия

выходит 4 раза в год

---

### СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации

№ 14310-Ж

выдано

Министерством культуры, информации и общественного согласия  
Республики Казахстан

---

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Левьков Ю. А., *к.т.н., доцент*

Ответственный секретарь

Акаев А. М.

### Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Боровиков Ю. С.,	<i>к.т.н., профессор (Россия)</i>
Новожиллов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Горюнов В. Н.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Говорун В. Ф.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Захаров И. В.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Клепаль М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Гастенов А. Д.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Хачевский В. Ф.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Нургожина Б. В.	<i>технический редактор</i>

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Азимов А. М., Жантасов К. Т., Сатаев М. И., Ортаев А. Е., Калдыккозов Г. А.</i>	
Особенности и закономерности механизма селективного извлечения ионов солей из воды полиамидными мембранами .....	9
<i>Антонцев А. В., Жумажанов С. К., Амренова Д. Т., Исабеков Д. Д.</i>	
Применение методов теории распознавания образов к проектированию систем автоматического управления .....	10
<i>Герасименко Т. С.</i>	
Структура распределения потерь электроэнергии в электрических сетях и трансформаторах с разработкой комплекса мероприятий по их снижению .....	23
<i>Жалмагамбетова У. К., Нуканов К. К.</i>	
Автоматизированный приводной трубный ключ обеспечивает безопасную и более эффективную работу .....	33
<i>Жаптаргазинова К. Х., Торощина Д. А.</i>	
Исследование модифицированных водорастворимых полимеров в качестве флокулянтов для очистки сточной воды .....	37
<i>Исабеков Ж. Б.</i>	
Анализ методов расчетов токов при однофазных замыканиях на землю в кабельных сетях 3-10 кВ .....	46
<i>Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П., Антонцев А. В.</i>	
Транзисторные инверторы с широтно-импульсной модуляцией базовых векторов .....	54
<i>Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Шокаев Д. Т., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Шарипиденов Д. С.</i>	
Симметрирование трехфазных систем .....	62
<i>Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Шокаев Д. Т., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Шарипиденов Д. С.</i>	
Исследования качества и дополнительных потерь электрической энергии в распределительных сетях 0,38 кВ .....	72
<i>Копырин В. С., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Шажман Е. Т.</i>	
Особенности дифференциальной защиты электрической печи сопротивления .....	83
<i>Лукутин В. В., Мустафина Р. М., Сарсимеев Е. Ж., Сурнов М. А.</i>	
Определение оптимального соотношения установленных мощностей ветро- и дизель-генераторов в автономных ветродизельных комплексах электроснабжения .....	88

<i>Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И., Садвакасова Г. М., Рахимбердинова Д. М.</i>	
Анализ основных структур и характеристик телекоммуникационных сетей .....	95
<i>Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И., Садвакасова Г. М., Рахимбердинова Д. М.</i>	
Импульсно кодовый модулятор систем телекоммуникаций .....	102
<i>Нефтисов А. В., Садуакасова А. Д.</i>	
Анализ технического и программного обеспечения ТЭЦ-3 для реализации автоматизированной системы расчета техничо-экономических показателей .....	108
<i>Никифоров А. С., Приходько Е. В., Кинжибекова А. К., Карманов А. Е.</i>	
Методы повышения энергоэффективности на котлах малой мощности ..	113
<i>Никифоров А. С., Приходько Е. В., Кинжибекова А. К., Григорьев О. О.</i>	
Физическое моделирование котла с кипящим слоем при работе на топливных брикетах .....	121
<i>Парамонов Д. Ф., Масакбаева С. Р., Парамонов Ф. П.</i>	
Оценка приема разбавления при использовании рентгенофлуоресцентного метода анализа (сообщение 1) .....	128
<i>Парамонов Д. Ф., Масакбаева С. Р., Парамонов Ф. П.</i>	
Использование разбавителя с известными массовыми коэффициентами поглощения при полихроматическом рентгенофлуоресцентном анализе (сообщение 2) .....	137
<i>Парамонов Д. Ф., Ковтарева С. Ю., Парамонов Ф. П.</i>	
Использование поваренной соли в качестве разбавителя при анализе чёрных шлаков металлургического производства (сообщение 3) .....	144
<i>Рындин В. В., Абитова Д. М.</i>	
Расчёт магистрального нефтепровода по четырём вариантам в системе MATHCAD .....	153
<i>Тажибай Е. Р., Искаков Е. А., Магаз А. А., Достоева А. М.</i>	
Сравнительный анализ легирующих добавок применительно к изготовлению термостойких проводов на основе алюминия .....	163
<i>Хисматуллин А. С., Хасанов Д. С.</i>	
Исследование теплопереноса в промышленных силовых трансформаторах с элегазовым охлаждением .....	174
Правила для авторов .....	182

*Осы мақалада автоматтандырудың қолданыстағы құрылғыларына талдау келтірілген. Бу қазандарының және турбоагрегаттардың бағдарламалық-техникалық кешенінің мүмкіндіктері, сондай-ақ көрсеткіштерді тіркейтін басқа құрылғыларының мүмкіндіктері келтірілген. Олардың жәрдемімен деректерді автоматты түрде жинау және техникалық-экономикалық көрсеткіштердің есептеулерін жүргізу мүмкін.*

*In this paper the operated automation devices analysis is provided. The features of the software and technical complex of the boiler units and turbo-units are specified, as well as other parameter registration devices. These devices provide automatic data acquisition and technical indices estimation.*

УДК 621.184

**А. С. Никифоров<sup>1</sup>, Е. В. Приходько<sup>2</sup>, А. К. Кинжибеков<sup>3</sup>,  
А. Е. Карманов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика»; <sup>2</sup>к.т.н., профессор кафедры «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар; <sup>3</sup>к.т.н., директор департамента энергетики, металлургии и информационных технологий, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар; <sup>4</sup>докторант, Алматинский университет энергетике и связи, г. Алматы

## **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА КОТЛАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

*В статье проводится анализ способов использования топливных брикетов из возобновляемых ресурсов.*

*Ключевые слова: энергоэффективность, котельные агрегаты, тепловые потери, режимы*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Анализ современного состояния инженерной инфраструктуры объектов малой энергетики (автономных котельных установок) показал, что большая часть котельного оборудования устарела и требует комплексной модернизации основных фондов, КПД которых колеблется в пределах

до 60 %, а у некоторых среднестатистический коэффициент полезного использования энергии составляет не более 40 %, то есть около 40-60 % тепловой энергии, генерируемой в котельных, терлет с уходящими газами, в тепловых сетях, через ограждающие конструкции общественных и жилых зданий. Особенно это наблюдается в котлах малой теплопроизводительности, работающих на самотяге, где эффективность может быть еще ниже.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Авторами статьи была проведена работа по исследованию работы котлов малой и средней мощности, обобщая результаты которой можно привести следующие рекомендации по повышению энергоэффективности на этих котлах.

*Обмуровка котлов.* Котельные агрегаты, используемые в котельных Павлодарской области, согласно паспортам предприятий-изготовителей имеют КПД от 70 до 75 %. Но в условиях эксплуатации реальные КПД далеки от паспортных.

Так, тепловые потери в окружающую среду, превышают нормативные. На исследованных нами котлах максимум тепловых потерь составил величину в 3 раза превышающую нормативную. Объяснение этого кроется в просчётах при конструировании, неудовлетворительное состояние обмуровки при эксплуатации (наблюдается нарушение не только теплоизоляционных свойств обмуровки, но и нарушение герметичности котла, что влияет на потери теплоты теплопроводностью и с уходящими газами) использованных материалов, не подходящих для использования в нерасчётных условиях.

Для снижения тепловых потерь котлами малой и средней мощности предлагаются следующие мероприятия:

1) Контроль за выполнением требований технической эксплуатации по температуре на поверхности теплоизоляции котельных агрегатов на стадии конструирования.

2) Использование в качестве теплоизоляции современных энергосберегающих материалов. Часто производители котлов (и эксплуатирующий персонал при замене изоляции) не задумываются об эффективности теплоизоляции и используют недорогие материалы исходя из пеновых соображений. При этом, проведенный нами анализ показывает, что при использовании теплоизоляции с меньшим коэффициентом теплопроводности возможно снижение затрат за счёт уменьшения объёма теплоизоляции.

Рекомендуемую тепловую изоляцию разделим на группы по критерию – максимальная температура применения.

При максимальной температуре поверхности не более 500 °С рекомендуется применение различных видов минеральной ваты с коэффициентом теплопроводности не более 0,04 Вт/(м·К). Также в этом температурном диапазоне можно рекомендовать использование «жидкой» теплоизоляции – жидко-керамического покрытия, которое наносится как краска. Данный материал, по характеристикам производителя, имеет коэффициент теплопроводности не более 0,003 Вт/(м·К).

При максимальной температуре поверхности до 900 °С рекомендуется использование теплоизоляции из базальтовых волокон – базальтового супертекстурного волокна (БТСВ) с коэффициентом теплопроводности 0,036 Вт/(м·К).

Для теплоизоляции поверхностей с температурой не более 1100 °С рекомендуется применение материалов из волокна муллитокремнезёмистого состава. Температура длительного применения 1150 °С, коэффициент теплопроводности 0,13-0,15 Вт/(м·К).

3) Контроль за изготовлением и состоянием обмуровки при эксплуатации. Технологию изготовления обмуровки (особенно слоёв из волокнистых материалов) должна чётко соблюдаться. Коэффициенты теплопроводности, используемые в расчётах, приведены для материалов не подверженных сжатию. Между тем, при выполнении изоляции часто наблюдается сжатие теплоизоляционных материалов, что переводит тепловую работу изоляции в нерасчётные режимы и увеличивает тепловые потери.

При невозможности выполнения тепловой изоляции без сжатия предлагается использование коэффициентов теплопроводности, подкорректированных с учётом степени сжатия. Данные работы были проведены в рамках данной научной работы и результаты представлены в отчётах.

Проведённые нами обследования показали, что на многих котлах имеется неудовлетворительное состояние обмуровки – трещины, сколы и др. Эти моменты, влияющие на экономичность работы котлов, могут быть легко обнаружены (визуальный контроль) и устранены. В принципе от персонала достаточно лишь соблюдение правил техники эксплуатации, а от руководства – чёткого контроля.

4) Разработка рациональных (с позиции возникающих термических напряжений) графиков сушки обмуровок после капитальных и разогрева котлов. Эти работы приведут к повышению стойкости огнеупорного слоя обмуровки, снижению тепловых потерь и повышению надёжности работы котлоагрегата в целом. Такие работы для котла БКЗ-75 были нами проведены: разработаны рациональные графики сушки и разогрева обмуровки (два варианта): возникающие термические напряжения при этом снизились на

30 и 40,5 %, а тепловые потери в процессе разогрева котла – на 20 и 28,2 % соответственно.

5) Контроль процессов сушки и разогрева обмуровок котлов. Для производства обмуровочных работ применяются различные материалы, в зависимости от уровня температуры в конкретной части котельного агрегата. Наиболее часто используемыми являются диатомовый и шамотный кирпичи, а также базальтовые и совелитовые плиты [1].

Измерение температуры по сечению обмуровки котельных агрегатов в настоящее время остаётся важной проблемой для эксплуатационного персонала. Для энергетических котлов тепловые процессы в обмуровке играют наиболее важную роль при переменных режимах работы этих агрегатов: пуски, остановки и резкое изменение нагрузки. При таких режимах возможно возникновение ситуации, когда скорость изменения температур в обмуровке будет превышать допустимые значения, что повлечёт за собой возникновение температурных напряжений, значения которых выше предела прочности используемых материалов. Это приведёт к образованию микротрещин в материале, и к уменьшению рабочей кампании котла в целом.

Итогом всех этих нарушений целостности обмуровок будет являться, в первую очередь, снижение технико-экономических показателей работы котла, и, в общем, общее снижение надёжности работы агрегатов.

Для контроля нестационарных режимов котельных агрегатов нами был разработан и запатентован ряд методов. При этом каждый метод имеет свои положительные стороны для применения в конкретных условиях. Так, «Способ определения теплового состояния обмуровки теплового агрегата» [2] позволяет с достаточно высокой точностью (погрешность не более 5 %) вести контроль режима разогрева высокотемпературного агрегата. При этом в качестве необходимого оборудования будет требоваться: два или три (минимально, в зависимости от условий применения) датчика температуры, вторичный прибор с возможностью передачи информации на компьютер и сам компьютер с программным обеспечением. Ну и конечно, возможность подключения компьютера к системе регулирования нагрева агрегата. Применение данного способа можно рекомендовать достаточно крупным предприятиям, при наличии инженеров КИПиА, а также инженеров-наладчиков.

Другой способ увеличивает точность расчётов и точность получения данных [3]. При этом, также необходим квалифицированный персонал и программном обеспечении.

Для котлов малой и средней мощности, установленных на котельных и предприятиях без квалифицированного персонала в области автоматике и



программного обеспечения нами предлагается простой и надёжный способ, не требующий значительных затрат [4].

*Топливо.* Котельные агрегаты на угле являются заводами-изготовителями на определенное проектное топливо и имеют, как правило, достаточно высокий коэффициент полезного действия. Но в условиях эксплуатации, например в Павлодарской области, можно говорить об использовании целого ряда топлив: каменных углей – Экибастузского, Сарыкольского, месторождения Каражыра и бурого – Майкубенского угля, то есть при использовании одного из них все остальные угли являются непроектными и КПД котельного агрегата при работе с ними будет ниже. Здесь стоит отметить и эксплуатационные режимы, которые тоже разработаны для работы котельного агрегата на конкретном виде угля: начиная с технологической карты горения до периода очистки газоходов от золы и пыли др.

При эксплуатации котлов на расчётном топливе в процессе горения образуется шлак, который в жидком виде движется вниз и накапливается на колосниковой решётке. По мере подвода шлака в решётке он охлаждается воздухом, затвердевает и создаёт защитный теплоизоляционный слой, препятствующий перегреву колосников. Использование неагрегатного топлива при соблюдении тех же температурных режимов способствует запылению нижней части слоя на колосниковой решётке, что приводит к снижению подачи воздуха на горение и возможному недожогу, возникающему вследствие обволакивания кусков топлива шлаком и удалении их из зоны горения без доступа воздуха.

Анализ показывает, что при работе котельных на разных видах топлива наименьший КПД имеет котёл при сжигании Экибастузского угля, наибольший – при сжигании Карагандинского. Достаточно высокий КПД имеет котёл при сжигании Майкубенского угля. Экибастузский уголь относится к углям, где минеральная и органическая части практически неразделимы. Поэтому Экибастузский уголь сжигать в слое нецелесообразно, так как механический недожог при сжигании его в слое достигает 25-30 %, что приводит к низким значениям КПД котлоагрегатов.

Ухудшению качества топлива способствует также хранение угля на открытых складах. После хранения угля с возможностью доступа атмосферных осадков без системы сушки топлива приводит к сжиганию топлива с неконтролируемой влажностью. Влага, превращаясь при горении в пар, отнимает часть теплоты сгоревшего топлива, ещё более снижая эффективность тепловой работы котлов. Ситуация усугубляется тем, что при поставках угля типа «рядовой» может быть значительное количество фракций менее 20 мм, неподходящей для сжигания на колосниковой решётке. Для сжигания такой фракции персонал котельной смачивает уголь, получая

кашеобразное состояние, которое не проваливается (просыпается) через колосники. И в топочной камере образуются дымовые газы, насыщенные водяными парами. Эта ситуация приводит к низкотемпературной коррозии хвостовых поверхностей нагрева, даже при высокой температуре уходящих газов. Так, коррозия конвективной части котлов КВ-0,4 наблюдалась при температуре уходящих газов около 300 °С.

Решением этой проблемы может явиться изготовление угольных брикетов для слоевого сжигания.

В результате проведённых нами исследований можно сделать заключение о пригодности всех видов углей для производства брикетов. В зависимости от нужд и требований можно варьировать состав брикета, а так же его размер. А при необходимости, как показала практическая часть исследования, можно регулировать и плотность брикета, делая его в случае необходимости более «рыхлым».

*Вода.* Обязательное использование водоподготовки для котлов. На части котлов, исследованных нами, система подготовки воды отсутствовала, а вода для подпитки котлов бралась из систем водоснабжения населённых пунктов или из скважины. Таким образом, полное отсутствие системы удаления солей жёсткости из подпиточной воды, а порой и использование воды, насыщенной солями приводит к возникновению значительных отложений на внутренней поверхности нагрева, что приводит к ухудшению теплоотдачи в котле, увеличению расхода топлива и снижению КПД котлов в целом.

Обследование котельных показало, что на части оборудования проектировалась и первоначально устанавливалась схема подготовки воды (как правило, фильтры с сульфоглём). Это достаточно простые схемы, которые позволяют использовать для регенерации поваренную соль. Но обследования показывают, что даже такие фильтры не функционируют при реальной работе малых котельных. Среди причин этого можно выделить – отсутствие достаточной квалификации эксплуатационного персонала и затраты на покупку, доставку регенерационного раствора.

Рекомендуется использовать в качестве водоподготовительных установок аппараты, практически не требующие обслуживания. Современные установки для магнитной обработки (ГМС), (например, магнитные преобразователи воды «Энерготепломаш»); или работающие на электромагнитах аппараты магнитной обработки воды (АМО), или устройства для умягчения воды, использующие принцип обработки воды не электромагнитным полем, а на основе электромагнитных импульсов переменной частоты, что позволяет устройствам не только предотвращать накипеобразование, но и убирать уже имеющиеся отложения. В этом отношении можно порекомендовать продукцию фирмы Hydropath под

торговой маркой HydroFLOW. Это устройств потребляет незначительное количество энергии, не нуждается в обслуживании при эксплуатации и неплохо зарекомендовало себя в теплоэнергетике.

### ВЫВОДЫ

Кроме того, необходимо отметить такую важную часть процесса горения – подачу воздуха для горения топлива. Как правило, котлы даже малой и средней мощности имеют дутьевые вентиляторы (а порой и дымоходы). Работа дутьевых вентиляторов определяется лишь субъективным взглядом эксплуатационного персонала, основанном на опыте их работы. Если учесть, что котлы не постоянно работают на номинальных параметрах, то можно утверждать, что подача воздуха для процесса горения далека от оптимальной. К этому стоит добавить, что организации изготавливающие котельные агрегаты не дают рекомендаций по выбору дымовых труб, что приводит либо к недостатку, либо к избытку воздуха.

В этом случае возможно применение газоанализатора. Достаточно двухкомпонентного анализа дымовых газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ ) чтобы судить и о полноте сгорания и о количестве кислорода. При этом, конечно, необходима соответствующая квалификация персонала.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Никифоров, А. С., Прихолько, Е. В., Книжибекова, А. К., Жумагулов, М. Г., Карманов, А. Е. Анализ работы водогрейных котлов малой и средней мощности Павлодарской области. – Вестник ЕНУ им. Л. Н. Гумилева. – 2014. – № 4. – С. 60-65.

2 «Способ определения теплового состояния обмуровки теплового агрегата» (Инновационный патент № 26932 Республика Казахстан, МКП G 01 K 13/00, опубл. 15.05.2013, бюл. № 5. – 3 с. : ил.)

3 Способ определения теплового состояния обмуровки высокотемпературного агрегата. Инновационный патент № 30372 Республика Казахстан, МКП G01K 13/00 опубл. 15.09.2015, бюл. № 9. – 3 с.

4 Способ определения теплового состояния футеровки высокотемпературного агрегата. Инновационный патент № 29868 Республика Казахстан, МКП G 01 K 13/00 опубл. 15.05.2015, бюл. № 5. – 3с.

Материал поступил в редакцию 10.05.16.

*A. S. Nikiforov<sup>1</sup>, E. V. Prikhodko<sup>1</sup>, A. K. Kinzhibekova<sup>2</sup>, A. E. Karmanov<sup>3</sup>*

**Төмен қуатты казандарда энергия тиімділікті жоғарылату тәсілдері**

<sup>1</sup>С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;

<sup>2</sup>Инновациялық Еуразия университеті, Павлодар қ.;

<sup>3</sup>Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ.

Материал 10.05.16 баспаға түсті.

*A. S. Nikiforov<sup>1</sup>, E. V. Prikhodko<sup>1</sup>, A. K. Kinzhibekova<sup>2</sup>, A. E. Karmanov<sup>3</sup>*

**Methods of improving energy efficiency in low-power boilers**

<sup>1</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar;

<sup>2</sup>Innovative University of Eurasia, Pavlodar;

<sup>3</sup>Almaty University of Power Engineering & Telecommunications, Almaty.

Material received on 10.05.16.

*Мақалада жаңартылатын ресурстардан отындық брикеттерді пайдалану тәсілдерінің сараптамасы келтірілген.*

*The article analyzes the ways to use fuel briquettes from renewable resources.*